

Análise da transição de fluidos refrigerantes com baixo GWP aplicados em ar condicionado**Analysis of the transition of refrigerated fluids with low GWP applied in air conditioning**

DOI:10.34117/bjdv6n10-278

Recebimento dos originais:08/09/2020

Aceitação para publicação:14/10/2020

Lucas Santos de Olivera

Engenharia Mecânica (Graduando)

Universidade Estadual do Maranhão

Cidade Universitaria Paulo VI - S/N - Tirirical/Cidade Operária, São Luís - MA

E-mail:lucassantosdeoliveira2020@gmail.com

Rafael Lemos Diniz

Engenharia Mecânica (Graduando)

Universidade Estadual do Maranhão

Cidade Universitaria Paulo VI - S/N - Tirirical/Cidade Operária, São Luís - MA

E-mail:catedral_rafa20@hotmail.com

Fernando Nascimento Costa

Mestre em Engenharia Mecânica

UNICAMP Universidade Estadual de Campinas

Cidade Universitária Zeferino Vaz - Barão Geraldo, Campinas - SP

Karla Fabiana Rodrigues Nunes

Engenharia Civil (Graduando)

Faculdade Internacional de São Luís - ISL | Wyden

Endereço:Av. dos Holandeses, 10 - Calhau, São Luís – MA

E-mail:karlacomkfrn@gmail.com

Marcos Antonio Pinheiro Ponçadilha

Engenharia Mecânica (Graduado)

Universidade Estadual do Maranhão

Cidade Universitaria Paulo VI - S/N - Tirirical/Cidade Operária, São Luís - MA

E-mail:marcos_antony09@hotmail.com

RESUMO

Os fluidos refrigerantes quando lançados na atmosfera tem um grande potencial de destruição da camada de ozônio, o interesse internacional na mitigação das reduções das emissões de fluidos refrigerantes tem estimulado o aparecimento de fluidos refrigerantes com baixos GWP, a partir do protocolo de Montreal e posteriormente do protocolo de Kyoto buscou-se novas alternativas para a redução dos danos ambientais causados pelos fluidos refrigerantes. o presente artigo enfatiza uma análise técnica que dará suporte a implementação de ações políticas brasileiras na regulamentação de novos fluidos refrigerantes com baixo GWP, esta análise foi desenvolvida para avaliar a redução

nas emissões de gases de efeito em função da transição de novos fluidos refrigerantes com baixo GWP usados em sistemas de condicionamento de ar para o setor residencial brasileiro, além de enfatizar os benefícios que essas fontes alternativas podem trazer para o meio ambiente.

Palavras-chave: Refrigerantes, Condicionador de ar, Benefícios.

ABSTRACT

When refrigerants are released into the atmosphere, they have a great potential to destroy the ozone layer. International interest in mitigating reductions in refrigerant emissions has stimulated the appearance of refrigerants with low GWP, starting with the Montreal protocol and later The Quito Protocol sought new alternatives to reduce the environmental damage caused by refrigerants. this article emphasizes a technical analysis that will support the implementation of Brazilian political actions in the regulation of new refrigerants with low GWP, this analysis was developed to evaluate the reduction in emissions of greenhouse gases due to the transition of new refrigerants with low GWP GWP used in air conditioning systems for the Brazilian residential sector, in addition to emphasizing the benefits that these alternative sources can bring to the environment.

Keywords: Soft drinks, Air conditioner, Benefits.

1 INTRODUÇÃO

Fluidos refrigerantes hidrofluorcarbonetos (HFCs) são largamente utilizados em sistemas de condicionamento de ar. Estes fluidos refrigerantes, quando lançados na atmosfera, tem potencial nulo de destruição de camada de ozônio. Entretanto, o potencial de aquecimento global (GWP) dos HFCs apresentam níveis elevados, quando comparados com a nova geração de fluidos refrigerantes que estão surgindo. O interesse internacional na mitigação das reduções das emissões de fluidos refrigerantes tem estimulado o aparecimento de fluidos refrigerantes com baixos GWP. O acordo de Kigali estabelece que no ano de 2045 o Brasil deva reduzir em 20% os níveis utilizados na média com referência aos anos de 2020 e 2022.

(DEVECIOGLU and ORUÇ, 2015) estudando as Características de alguns refrigerantes com baixo GWP concluíram que Embora cada gás seja usado para diferentes processos, o gás R134a é usado em geladeiras de pequena capacidade e equipamentos de refrigeração, geralmente, o R404A é usado em equipamentos de refrigeração, o R410A é usado em equipamentos de ar condicionado (refrigeração e aquecimento) e o R22 é usado em ambos.

Ainda de acordo com (DEVECIOGLU and ORUÇ, 2015) na seleção de fluidos de refrigeração, além da baixa consideração de GWP, os gases com melhores características de energia devem ser preferidos devido às suas características limitantes. O estudo representa que todos os novos gases alternativos são melhores em relação aos seus valores mais baixos de GWP. Como não existe um sistema para os ciclos de refrigeração por compressão de vapor em médio prazo, deve-se realizar uma busca adequada de gás e realizar testes de gases comercialmente fornecidos ao

mercado.

O presente artigo enfatiza uma análise técnica que dará suporte a implementação de ações políticas brasileiras na regulamentação de novos fluidos refrigerantes com baixo GWP. As metas brasileiras tornarão obrigatórias a substituição de fluidos refrigerantes HFCs por novos fluidos com baixo GWP, neste contexto é essencial demonstrar que estes novos fluidos refrigerantes são tecnicamente viáveis e economicamente justificáveis. A presente análise foi desenvolvida para avaliar a redução nas emissões de gases de efeito dos em função.

2 METODOLOGIA

(Garcia et al., 2016) Na seleção de fluidos de refrigeração, além da baixa consideração de GWP, os gases com melhores características de energia devem ser preferidos devido às suas características limitantes. O estudo representa que todos os novos gases alternativos são melhores em relação aos seus valores mais baixos de GWP. deve-se realizar uma busca adequada de gás e realizar testes de gases comercialmente fornecidos ao mercado.

A tabela 1 apresenta as características de alguns fluidos refrigerantes alternativos com baixo GWP que podem substituir o R-410A. O fluido refrigerante R-410A apresenta classificação A1 (Toxicidade não identificada e não se propagam chamas nas condições de 18 °C e pressão de 101,325 kPa).

Tabela 1. Fluidos refrigerantes alternativos do R-410A testados por AREP.

Fluido Refrigerante	Fabricante	Classe de Segurança (ASHRAE)	GWP (IPCC AR5)
R-410A	-	A1	1924
ARM-71A	Arkema	A2L	461
R-32	Daikin	A2L	677
DR-55	Chemours	A2L	676
L-41	Honeywell	A2L	572
HPR-2A	Mexichem	A2L	593

Fonte: Adaptado de Shah et al, 2015.

Os principais fluidos refrigerantes com potencial para substituir o R-410A apresentam GWP entre 400 e 700 e apresentam classificações de inflamabilidade A2L (Inflamabilidade muito baixa). Os fluidos refrigerantes considerados apresentam propriedades semelhantes ao R-410A, incluindo o mesmo óleo lubrificante (POE).

Considerando o uso de condicionadores de ar split para o setor residencial, a análise se concentra em um modelo representativo dos equipamentos mais comumente utilizado para este setor. As características do condicionador split típico que represente o setor residencial no Brasil é mostrado na tabela 2.

Tabela 2: Ar condicionado de referência para o setor residencial.

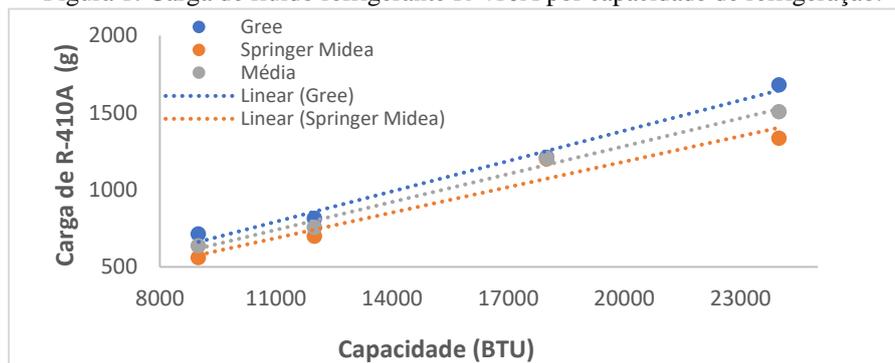
Características	Descrição	Unidade
Capacidade de Refrigeração	1/12.000	TR/BTU
Consumo de Energia	1,2	kW
Vida útil do Equipamento	10	Anos
Eficiência Energética (EER)	3,02	W/W
Carga de Fluido Refrigerante	0,758	kg

Fonte: Elaboração própria.

2.1 CARGA DE FLUIDO REFRIGERANTE

A carga de fluido refrigerante em condicionadores de ar tipo split varia entre os fabricantes. Para a linha de base (1 TR) do setor residencial, a carga nominal de fluido refrigerante R-410A, foi estimada baseado nas especificações técnicas dada pelos fabricantes. Em função das variedades da carga de fluido refrigerantes entre os Fabricantes o modelo de linha de base foi utilizado através de uma média dos principais fabricantes de condicionadores de ar no Brasil. A figura 2 apresenta a carga de fluido refrigerante em função da carga térmica, tomando como referência alguns fabricantes.

Figura 1: Carga de fluido refrigerante R-410A por capacidade de refrigeração.



Fonte: Elaboração própria.

2.2 CONTEXTO BRASILEIRO E A PREVISÃO DE ESTOQUE

Segundo Abrava (2015), 78% do mercado de condicionadores de ar no Brasil são representados por condicionadores de ar split e janela. Os condicionadores de ar tipo split são responsáveis por 67% desse valor ao passo que o uso condicionador de ar tipo janela representa 11%. Dos condicionadores de ar tipo split somente 11% são equipamentos que possuem a tecnologia inverter (compressores de rotação variável). No entanto, nos últimos anos a tecnologia inverter vem sendo cada vez mais difundida no mercado devido à redução de consumo de energia elétrica que variam de 30% a 60% segundo informações dos próprios fabricantes. Todos os condicionadores de ar inverter usam o fluido refrigerante R-410A, ao passo que somente alguns fabricantes com

condicionadores de ar convencionais (compressores Com rotação fixa) utilizam o fluido R-410A. Grande parte dos fabricantes de condicionadores de ar convencional brasileiros usa o fluido refrigerante R-22.

Para avaliar os impactos nacionais devido a transição de fluidos com baixo GWP, faz-se necessário desenvolver uma estimativa da quantidade de equipamentos que operam nos pais a cada ano, a taxa de equipamentos antigos que são substituídos por condicionadores de ar com fluido refrigerante com baixo GWP. O estoque de condicionadores de ar é impulsionado pelo crescimento populacional e pelas tendências na taxa de difusão dos equipamentos (Costa *et al.* 2019). No Brasil as taxas de difusão são dinâmicas e dependem das rendas das famílias e do grau de urbanização e eletrificação. a difusão em condicionadores de ar é afetada pelo clima nacional e a variável de urbanização é substituída por uma variável climática chamada graus dias resfriamento (*Cooling Degree Days – CDD*). Admite-se que o uso de condicionadores de ar se dá para os setores residenciais com eletrificação plena. A difusão de condicionadores de ar é dada por:

$$Diff = (1 - \gamma_{CDD} \cdot e^{(CDD \cdot \beta_3)}) \cdot \left(\frac{\alpha}{1 + \gamma \cdot e^{(\beta_1 \cdot Inc)}} \right) \quad (1)$$

Os parâmetros do modelo de saturação foram estimados pelo Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) e são apresentados na tabela 3 (COSTA *et al.*, 2019).

Tabela 3. Parâmetros do modelo de difusão.

Parâmetros	α	β_1	β_3	γ	γ_{CDD}	CDD
Ar Condicionado	1	-7E-05	-0,002	127	0,95	2.015

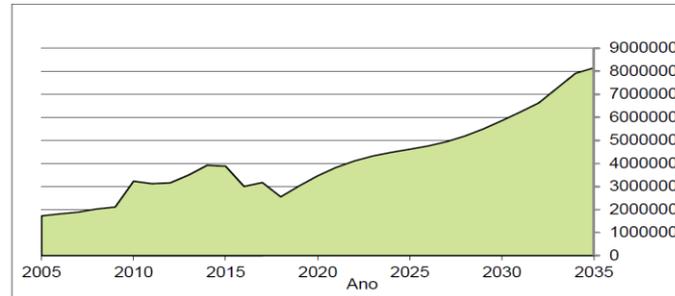
Fonte: Elaboração própria.

Onde α é a saturação de condicionadores de ar. β_1 , β_3 , γ , γ_{CDD} são resultados dos coeficientes de regressão linear para condicionadores de ar, referente à renda, eletrificação e fatores residuais, respectivamente.

O modelo estima as previsões de vendas levando em consideração o crescimento da difusão e as substituições dos equipamentos. Para situações nas quais os dados e projeções de vendas estão disponíveis, estes dados são lançadas diretamente no modelo. Os dados de vendas para o ano de 2010 e 2011 foram obtidos da ABRAVA e para os anos de 2012 a 2017 foram obtidos a partir de Euromonitor (Mitsidi, 2018). As projeções de vendas para 2018 a 2035 foram obtidas pelo modelo econométrico Policy Analysis Modeling System (PAMS), que leva em consideração o crescimento

da difusão dos equipamentos e as substituições de equipamentos. As projeções das vendas de condicionadores de ar para o ano de 2018 a 2035 são mostradas na figura 3.

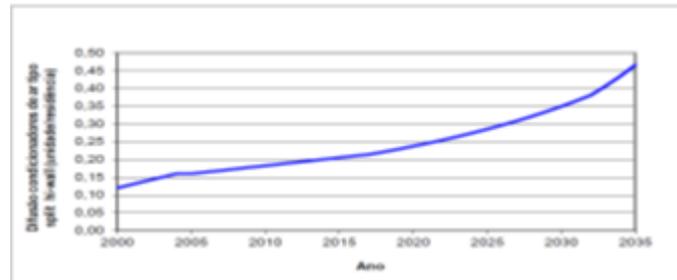
Figura 3: Projeção de vendas (milhões de unidades) de condicionadores de ar tipo split no Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

A difusão de condicionadores de ar tipo split hi-wall para o Brasil utilizado como referência (2000 a 2005) no modelo foi obtida de acordo com a Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso feita pela Eletrobrás (2007). As projeções de difusão a partir do ano de 2005 foram obtidas por meio do modelo de difusão disponibilizado pela metodologia PAMS. A figura 4 apresenta a difusão para condicionadores de ar tipo split para os anos de 2000 a 2035.

Figura 4: Projeção de vendas de condicionadores de ar tipo split no Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir de simulações utilizadas por software conseguimos levantar alguns resultados referentes aos impactos diretos são obtidos com as emissões diretas de fluidos refrigerantes na atmosfera devido aos vazamentos que nos condicionadores de ar em função de sua utilização ao longo de sua vida útil. Os impactos indiretos ocorrem devido à queima de combustíveis fósseis para geração de energia elétrica. Essa energia é utilizada no consumo dos condicionadores de ar. Os impactos diretos e indiretos devido a transição de fluidos refrigerantes com baixo GWP são avaliados com a metodologia TEWI.

3.1 DADOS DE ENTRADA

A tabela 4 apresenta dos dados de entradas para a análise dos impactos diretos e indiretos devido a utilização de novos equipamentos que usam fluidos refrigerantes com baixo GWP.

Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros do modelo TEWI.

Dados	Valor	Unidade	Fonte
<i>L</i>	3%	kg	AIRAH, 2012
<i>n</i>	10	anos	Estimativas PROCEL
<i>m</i>	0,758	kg	Estimativos próprios mediante estudos de campo
<i>α</i>	70%	%	IPCC
<i>β</i>	0,4372	kgCO ₂ / kWh	MITSIDI, 2018
<i>CR</i>	3,51	kW	Letschert, 2018
<i>h</i>	3,9	h	MITSIDI, 2018
<i>ONFF</i>	75	%	Letschert, 2018
<i>EER</i>	3,20	W/W	Letschert, 2018

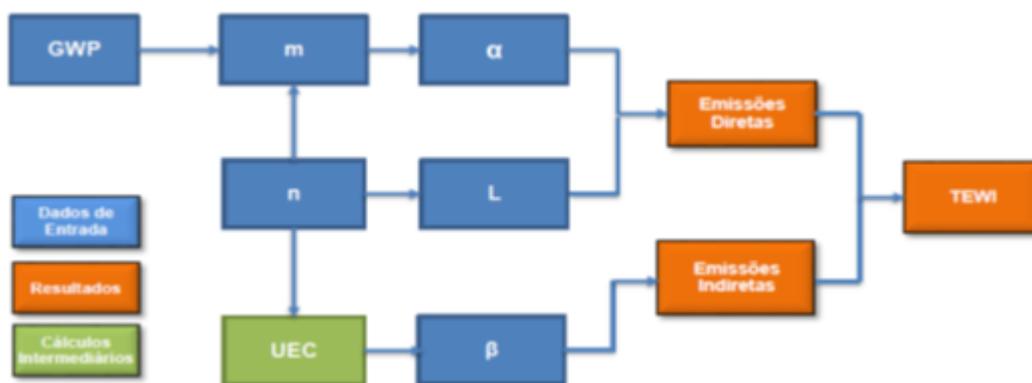
Fonte: Elaboração própria.

O consumo de energia unitário (*UEC*) é dado em função da capacidade resfriamento do condicionado de ar (*CR*), as horas de utilização do equipamento, do fator on-off (*ONFF*) e da eficiência do equipamento (Energy Efficiency Ratio - *EER*).

$$UEC = \frac{CR.h.ONFF}{EER} \quad (2)$$

As emissões totais (*TEWI*) são apresentadas conforme a figura 5.

Figura 5: Organograma para avaliação dos impactos diretos e indiretos na transição de fluidos refrigerantes com baixo GWP.



Fonte:Elaboração própria.

A carga de fluido refrigerante e a eficiência em condicionadores de ar varia em função do fluido refrigerante alternativo (Abdelaziz et al., 2016), conforme mostra a tabela 5. As emissões diretas ocorrem devido às perdas de fluido refrigerante ao longo de sua vida útil e é relacionada à

carga de fluido refrigerante. A emissão indireta ocorre em função do consumo elétrico do equipamento, que por sua vez está relacionado com sua eficiência energética (Coefficient of Performance – COP).

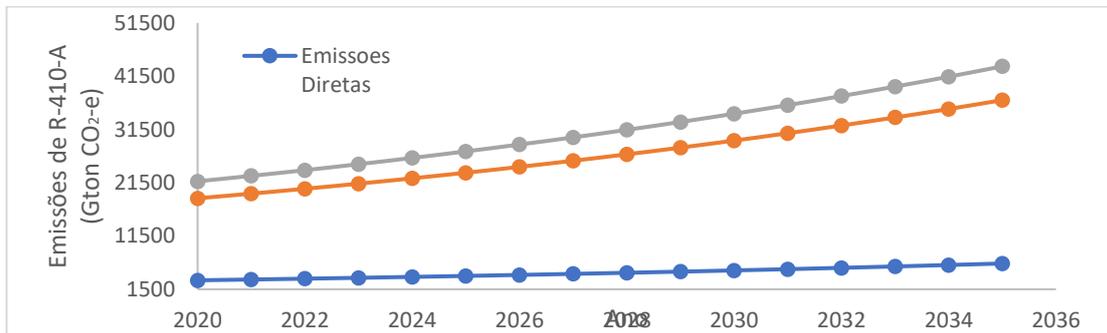
Tabela 5: Carga de fluido e eficiência energética em função do fluido refrigerante com baixo GWP.

Fluido Refrigerante	Variação na Eficiência Energética	Eficiência Energética	Variação na carga de refrigerante	Carga de Fluido Refrigerante
R-410	-	3,20 W/W	-	0,758 kg
ARM-71A	-1 %	3,16 W/W	-18 %	0,621 kg
DR-55	+3 %	3,30 W/W	-13 %	0,659 kg
R-32	+4 %	3,32 W/W	-24 %	0,576 kg
L-41	-5 %	3,04 W/W	-16 %	0,636 kg
HPR-2A	-2 %	3,13 W/W	-14 %	0,651 kg

Fonte: Elaboração própria.

As emissões diretas, indiretas e emissões totais (TEWI) de CO₂-e referente ao uso do fluido refrigerante R-410A usados em condicionadores de ar para os anos de 2020 a 2035 são mostradas na figura 6. Esse cenário (caso base) leva em consideração somente as projeções de vendas de condicionadores de ar, admitindo que o R-410A seria o fluido refrigerante usado nos equipamentos.

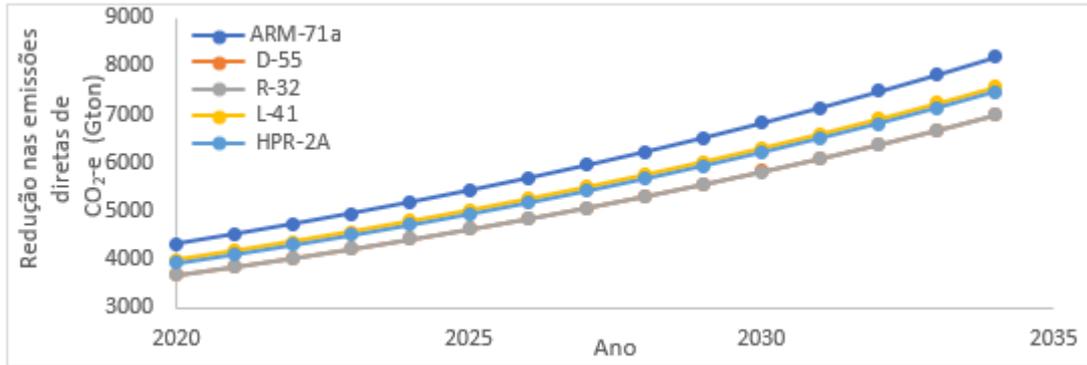
Figura 6: Emissões diretas, indiretas e totais (TEWI) em condicionadores de ar usando R-410A como fluido refrigerante



Fonte: Elaboração própria.

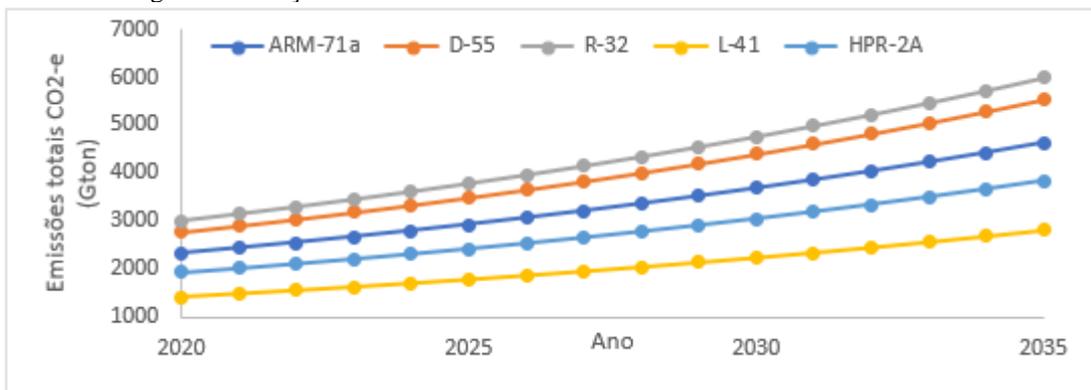
Através das figuras 7, 8, e 9 podemos ver com detalhes as reduções de emissões diretas e indiretas que podem ser evitadas.

Figura 7: Redução nas emissões diretas evitadas com fluidos com baixo GWP.



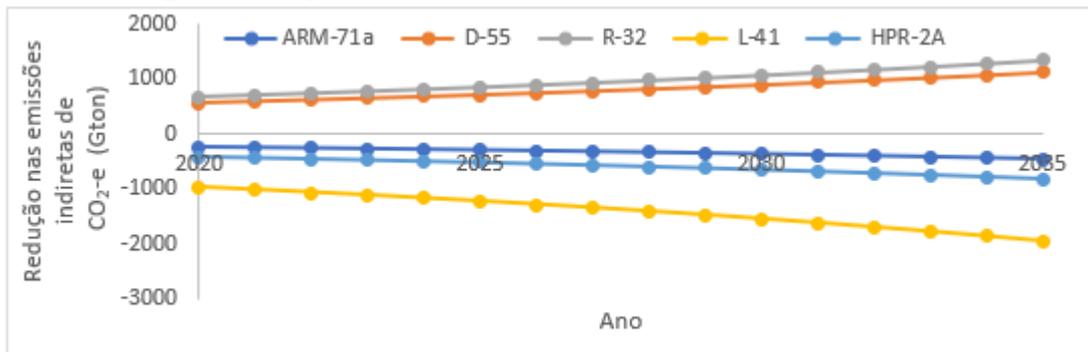
Fonte: Elaboração própria.

Figura 8: Redução nas emissões indiretas evitadas com fluidos com baixo GWP.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 9: Redução nas emissões totais evitadas com fluidos com baixo GWP.



Fonte: Elaboração própria.

A redução nas emissões acumuladas para os anos de 2025, 2030 e 2035, é mostrada na tabela 6. A maior redução cumulativa das emissões totais foi verificada para o fluido refrigerante R-32, atingindo 20.290, 42.037 e 69.398 Gton CO₂-e, para os anos de 2025, 2030 e 2035, respectivamente. As emissões do fluido refrigerante L-41 apresentou a menor redução nas emissões os resultados menos expressivos foi o L-4.

Tabela 6: Redução nas emissões acumuladas.

Emissões Acumuladas Gton CO₂-e	ARM-71A	DR-55	R-32	L-41	HPR-2A
2025	15.696	18.739	20.290	9.537	13.007
2030	32.518	38.822	42.037	19.759	26.947
2035	53.684	64.091	69.398	32.620	44.487

Fonte: Elaboração própria.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fluidos refrigerantes hidrocarbonetos GWP são de grande importância para o desempenho das máquinas de ar condicionado além dos benefícios para o meio ambiente, os impactos que esses fluidos podem trazer podem ser diretos e indiretos e vão desde emissões na atmosfera por vazamento até queima de combustíveis fósseis. Logo neste trabalho buscou-se analisar a implementação de ações políticas no Brasil para a regulamentação e a transição no uso dessa nova alternativa por possuírem um baixo GWP através da pesquisa notou-se que é satisfatório o uso desses refrigerantes devido a sua aplicabilidade e os benefícios para o âmbito nacional.

REFERÊNCIAS

- ABDELAZIZ, O., & SHRESTHA, S., Soft-Optimized System Test of Alternative Lower GWP Refrigerants in 1.5-ton Mini-Split Air Conditioning Units. *Air-Conditioning*,
- ABRAVA, 2015, Panorama HVAC-R: Brasil 2015. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Brasil, BR.
- AIRAH, Methods of Calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI), The Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating, 2012.
- COSTA, F., JANNUZZI, G., LAMBERTS, R., LETSCHERT, V., MELO, A., P., BORGES, K., Estudo de Impacto Regulatório: Diretrizes Gerais e Estudo de Caso para Condicionadores de Ar Tipo Split System no Brasil. Projeto Kigali, Março, 2019.
- DEVECIOGLU, A. G.; ORUÇ, V. Characteristics of Some New Generation Refrigerants with Low GWP. *Energy Procedia*, v. 75, p. 1452–1457, 2015.
- EPE, 2018, Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Nota Técnica EPE 030/2018. Empresa de Pesquisa Energética, Brasília, DF BR.
- GARCIA, E. et al. refrigerante com baixo gwp para sistemas de condicionamento de ar automotivo: r1234yf, revisão da literatura. I X Congresso Nacional de Engenharia Mecânica ,21 a 25 de Agosto de 2016 ,Fortaleza-Ceará.
- LETSCHERT, V. Regulatory Impact Analysis: Presentation for Advisory Committee. International Energy Studie Group. Lawrence Berkeley National Laboratory. December 5, 2018.
- MITSIDI Projetos. Kigali Project. Regulatory Impact Analysis: Data Collection Phase. Relatório Final. Setembro, 2018.
- MMA, 2011, Uso de Fluidos Alternativos em Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado: Artigos Técnicos. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, BR.
- OZONE SECRETARIAT, 2016. The Kigali Amendment (2016): The amendment to the Montreal Protocol agreed by the Twenty-Eighth Meeting of the Parties (Kigali, 10-15 October 2016)
- Shah, N. Wei M. Letschert V. & Phadke , 2015, Benefits of Leapfrogging to Superefficiency and Low Global Warming Potencial Refrigerants in Room Air